

真空容器内設置用水冷ヒートシンク製作

牟田口, 嵩史
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/6794444>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 5, pp.16-18, 2023-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

真空容器内設置用水冷ヒートシンク製作

牟田口 嵩史

要 旨

高温プラズマ理工学研究センターでは、超高真空状態を保つ球状トカマク実験装置 QUEST を用いたプラズマ研究を行っている。その中で、雰囲気中の炭素を 150℃以下の低温壁へ吸着させることで制御する研究が行われている。実証実験のため、真空容器内に設置する調温可能な低温壁の製作を依頼された。本稿では、製作した低温壁の一部である水冷ヒートシンクの製作過程を紹介する。

キーワード

TIG 溶接 機械加工 超高真空 水冷ヒートシンク QUEST

1. 背景

QUEST では、プラズマ対向壁に金属材料を採用しており、プラズマ燃料である水素の吸蔵・放出特性を研究している。その中で、プラズマ・壁相互作用によって発生するプラズマ対向壁表面の炭素を含んだ再堆積層がプラズマに与える影響に着目し、温度を 150℃以下に保つ低温壁を設置することで、滞留する炭素量をコントロールし、水素の吸蔵量を抑えるシステムが考案された。今回、低温壁の試作依頼を受けて、製作に取り組んだ。

本稿は、低温壁製作におけるペルチェ素子用水冷ヒートシンクの製作について記す。

2. 製作要件

水冷ヒートシンクを製作するにあたって、超高真空雰囲気内設置であること、十分にペルチェ素子の熱を取る性能が必要であることに鑑みて、以下のような要件が求められた。

- ① ヒートシンクの組立は、TIG 溶接を使用する
- ② ペルチェ素子の熱を除去できる性能である
- ③ 400℃雰囲気での耐食性、耐熱性に優れること
- ④ リークレート $1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下である

3. 設計

水冷ヒートシンクは、40mm×40mm のペルチェ素子を 9 個マトリクス状に配置し使用するため、各素子間の配線、熱電対を挿入する隙間を勘案し

た。結果、大きさは 190mm×170mm×13mm とし、材質は溶接加工と耐食性を考えて SUS316 を採用した。

また、効率よく冷却するため、各ペルチェ素子の下を 2 本の冷却水流路（以下、流路）が通るように設計した（図 1）。十分な冷却性能を維持するため、流路は幅 8mm、深さ 8mm とし、出入り口の配管は、3/8 インチの SUS316 チューブを採用した。配管の継手には、超高真空内で使用するため、密閉度の高いスウェージロック社製 1/2 インチ VCR 継手を採用した。流路の蓋には、母材のみでの TIG 溶接を想定し、厚さ 4mm の SUS316 板を採用した。

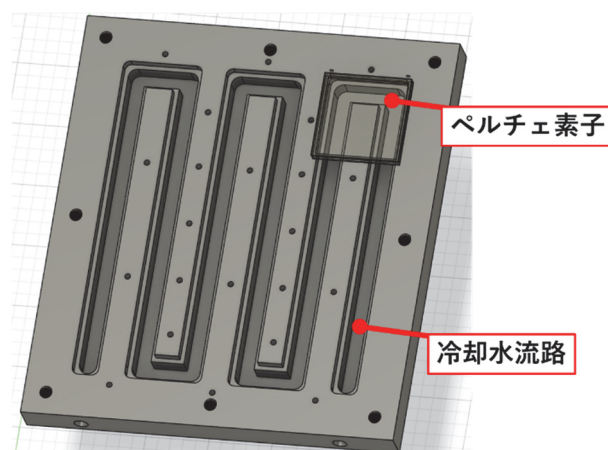


図 1 水冷ヒートシンク外観

4. 機械加工

今回の水冷ヒートシンク製作の機械加工では、フライス盤、ボール盤、帯ノコ盤を使用した。

まず、フライス盤を用いて図2のように外形を190mm×170mmに整える。次にφ6mmのエンドミルを使用して、流路となる溝と流路の蓋を嵌める段差を加工する。深く長い溝加工となるため、エンドミルへの熱負荷を抑える目的で、切込み量を0.3mmとして少しずつ加工を行った。



図2 フライス盤による外形切削加工中の様子

流路の蓋の製作について、溶接を行う際に十分な溶融と溶け落ち防止のため、蓋と溝とのクリアランスが0.05mm以下になるよう加工した。

最後に、フライス盤で、熱電対並びに対向壁取り付け穴位置にセンタードリルでマークを付けた。マークした位置にボール盤を用いて穴加工を施した。

3. 溶接

超高真空内に設置する水冷ヒートシンクのような流体を通す機器は、基本的に溶接を行い流体が漏洩し真空雰囲気中に影響を及ぼさないようにする必要がある。今回は、TIG溶接を用いて水冷ヒートシンクの組み立てを行った。

3-1. TIG 溶接

TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接とは、不活性ガスであるアルゴンやヘリウムをシールドガスとして使用し、タングステン電極からのアーク放電で溶接するアーク溶接の一種である。TIG溶接は、溶接個所を不活性ガスで覆うことにより、アークが安定し不純物も混入し難いため、清浄な溶接表面が得られる。そのため、真空容器など関連

部品の溶接によく使用されている。図3に使用したTIG溶接機を示す。



図3 使用したTIG溶接機

3-2. 冷却水流路の溶接

溶接を行う際には、連続で行うことでピンホールなどの溶接不良を低減させるが、長時間熱負荷を受けるため、熱応力による歪が大きくなる。この歪を低減させるため、溶接を2cm行うごとに対角にある離れた溶接位置へ移動し熱負荷が偏らないよう配慮した。また、数か所溶接する毎に、冷却する時間を挟みながら作業を進めた。図4に溶接した冷却水流路を示す。

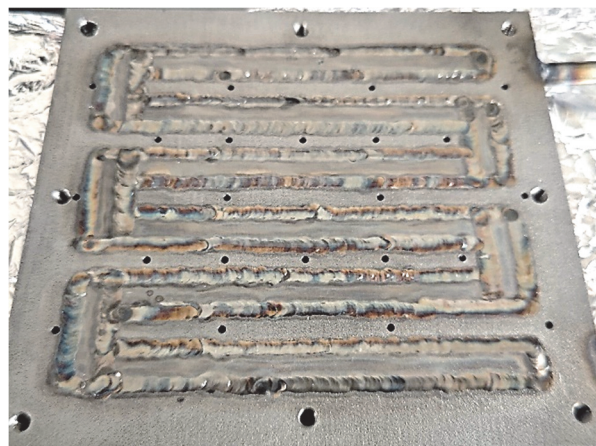


図4 溶接した冷却水流路

しかし、溶接個所の分散と冷却を施しても熱による影響を受けて歪んでしまう。これを考慮して厚みに余裕を持たせていたので、ペルチェ素子が接触する面をフライス盤で面カッターを用いて切削し、平滑になるよう面を整えた。

3-3. 冷却水配管の溶接

冷却水配管の溶接は、流路の溶接と違い肉厚の薄いステンレスチューブであるため、アーク電流が大きいと瞬時に溶け落ちて穴が空く可能性がある。そのため、溶加材となる、φ2mmのステンレス棒を溶かして加えながら溶接を行った。図5に溶接したステンレスチューブを示す。

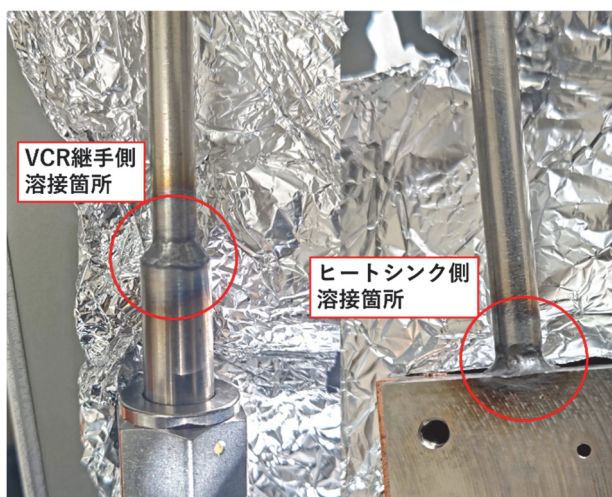


図5 溶接したステンレスチューブ

4. 洗浄・リークチェック

溶接組み立て完了後、付着した油や塵を取り除くため、エタノールを用いて洗浄を行った。

洗浄後、リークチェックの1段階目として気密試験を行った。2気圧の圧縮空気を水冷ヒートシンク内に封じ、圧力計を用いた時間経過による圧力変化の測定と、リークチェックスプレーを用いて溶接個所の試験を行った。

2段階目は、ヘリウムリークディテクター（図6）を用いて、気密試験では判別し難い微小なリークが無いか試験を行った。ヘリウムリークディテクターは、対象の容器をターボ分子ポンプにより高真空状態にし、外部からヘリウムガスを吹き付け、ガスがどれだけ流入するか（リークレート）を計測する装置である。



図6 ヘリウムリークディテクター

超高真空中に設置するために求められるリークレートは $1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であったが、測定の結果 $6 \times 10^{-12} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であり、規定を満たしていることを確認した。

5. まとめと今後の課題

製作した水冷ヒートシンクは、真空中で通水並びに加熱しても漏水や悪影響のあるアウトガスを放出しておらず、超高真空の容器内に問題無く設置できることを確認した。

今後の課題としては、溶接による熱影響が想定よりも大きかったため、アーク電流やビード幅の短縮、溶接後の冷却時間の増加など、各パラメーターを変更して試行を繰り返しながら、より歪の残らない溶接手法を探っていきたい。

謝辞

真空容器内に設置する機器の溶接作業は初めての経験であったが、今回の取り組みにより業務の幅を広げることができた。この貴重な機会を与えて頂いた花田和明教授、リークテストで補助して頂いた技術職員の島袋瞬氏に、この場を借りて謝意を表します。